

令和 6 年度（2024） 共同利用研究・研究成果報告書

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 研究課題名  | 和文：宇宙線研究のためのコンプトンカメラの検討<br>英文：Design study of a Compton camera for study of cosmic rays                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 研究代表者  | 茨城大学・准教授・片桐 秀明                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 参加研究者  | 榎本 良治（北里大学大学院医療系研究科 客員教授）、村石 浩（北里大学医療衛生学部 教授）、加賀谷 美佳（仙台高等専門学校総合工学科 准教授）、吉田 龍生（茨城大学理学部 教授）、渡辺 宝（北里大学医療衛生学部 助教）、塚本 ひかり（北里大学大学院医療系研究科 D2）、溝口 孝大（北里大学大学院医療系研究科 D3）、福本 仁也（北里大学大学院医療系研究科 M2（前年度））                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 研究成果概要 | <p>宇宙線起源の問題は、未だ完全には解決していない宇宙物理学上の重要な問題である。フェルミ衛星によって有力な銀河内宇宙線の加速候補天体である超新星残骸（SNR）からのガンマ線（主に<math>&gt;100\text{MeV}</math>）を高感度で測定できるようになり、多数の SNR からガンマ線が発見され、SNR における粒子加速は揺るぎない事実となった。しかし、SNR で加速される粒子が、地球で測定される宇宙線の主要な成分である陽子であるか、それとも電子であるか、という根本的な問題が残されている。この問題を解決するための有力な方法の 1 つとして、宇宙線陽子が星間物質中の原子核を励起した後に生ずる脱励起ラインガンマ線（<math>10\text{MeV}</math> 以下）の観測がある。これを捉えてやれば、加速粒子の種類を確実に検証することが可能となる。<math>2\text{MeV}</math> 以下では元素合成で生成される不安定同位体からの核ガンマ線などの寄与があるため、<math>2\text{MeV}</math> 以上の脱励起ガンマ線の観測が特に重要である。感度を飛躍的に向上させるには、コンプトン散乱の反跳電子の飛跡を検出する反跳電子検出型コンプトンカメラが有力である。いくつかのカメラの開発が進んでいるが、<math>2\text{MeV}\sim 10\text{MeV}</math> の領域では脱励起ガンマ線を検出できる程の感度を得るのは簡単ではない。研究代表者は、安価でかつ数 m の長さまで光信号を伝送でき、容易に大面積で高検出効率の検出器を作れるシンチレーションファイバーを用いる方法を考案した。ファイバーは小さい原子番号の物質から成るためクーロン多重散乱による電子飛跡の歪みが小さく、数 MeV 以上のガンマ線になると反跳電子の飛跡が数 mm 以上となる。よって、ファイバーによって 1mm 以下程度の位置分解能が実現できれば、反跳電子検出型コンプトンカメラとして動作する可能性がある。本課題では GEANT4 シミュレーターを用いて、宇宙線が星間物質を励起させた際に生じるガンマ線を高感度で測定可能なシンチレーションファイバーを用いたアドバンスドコンプトンカメラの実現可能性の検討を行っている。さらに、科研費などを用いて試作機を制作し、シミュレーションと比較した実証を進めている。</p> |

令和2年度～令和6年度は、試作1号機をコンプトンカメラとして機能させるために同時係数システムを開発するとともに、イメージインテンシファイアを用いた試作2号機の開発を進めた。試作2号機は、1号機より大型のファイバー検出器、開発したMPPCアレイ実装基板、EASIROCモジュール、イメージインテンシファイア、CMOSカメラを組み上げたシステムとなっている。実際に2号機を組み上げて、NIMモジュールにより同期回路を構築した上でデータを取得し、環境ミューオン事象と思われる飛跡を取得することに令和4年度までに成功した。令和5年度、令和6年度はコンプトンカメラとしての性能を検証するために、実際に1号機をコンプトンカメラ化するための計画を立て、準備を行っている。実働の学生が途絶えたため、現在、新たに研究室配属の学生とともに1号機の再立ち上げを行い、原理実証のためにコンプトン吸収体からの信号読み出し試験および同期回路の構築を行っている。今後、1号機をコンプトンカメラ化するのに合わせて、Geant4シミュレーターで試作1号機に近い現実的な検出器モデルを構築してコンプトンイベントを取得するアルゴリズムを構築し、コンプトンカメラとしての性能を検証する予定である。具体的には、まずは、卒業した大学院生が開発・評価した「信号読み出しモジュールで到来時間を精度よく測定可能に改良」を適用した1号機を用いて再度環境ミューオンの測定を行い、実際にバックグラウンド事象が低減しているかを検証する。その後、シンチレーター結晶をコンプトンカメラの吸収体として導入し、信号を同期させることでコンプトンカメラとしての動作を実現する。実験室で利用できる最もエネルギーの高いコバルト60線源のガンマ線を長時間照射することによって、ガンマ線イメージング検出器としての性能を検証する。これらの知見をもとに、大型プロトタイプの評価も遂行する。

整理番号 F17